

山形医学 (ISSN 0288-030X) 2017 ; 35 (2) : 61-68

DOI 10.15022/00004199

解剖学的二重束前十字靱帯再建術における 大腿骨骨孔作製法の比較検討

鈴木朱美*, 成田淳*, 山本尚生*, 浅野多聞*, 福島重宣**, 高木理彰*

*山形大学医学部整形外科科学講座

**済生会山形済生病院整形外科

(平成29年3月6日受理)

抄 録

【背景】膝前十字靱帯 (anterior cruciate ligament; ACL) 再建術において、より適切な位置に大腿骨骨孔を作製するためにoutside-in法で大腿骨骨孔を作製してきたが、貫通孔の場合は移植腱が骨孔内で異常可動性を生じ、骨孔拡大や移植腱と骨孔の癒合不全を生じる可能性があった。この問題点を補うべく、逆行性ドリルを用いて必要最小限の長さのソケット骨孔を掘削し、移植腱を密着させるより低侵襲なソケット孔法に変更した。本研究の目的は、貫通孔群とソケット孔群の術後臨床成績およびMRI画像での靱帯のリモデリング、骨孔壁と移植腱の癒合について検討することである。

【対象と方法】2008年から2015年に同一術者(著者)により解剖学的二重束ACL再建術が行われた108例108膝を対象とした。貫通孔群79膝、ソケット孔群29膝、手術時平均年齢は貫通孔群21.9歳、ソケット孔群26.2歳であった。再建術後1年時のLachman test陽性率、pivot shift test陽性率、KT-1000による患健側差および再断裂率について調査した。また術後6ヵ月、1年にMRI画像を撮像し得た貫通孔群20膝、ソケット孔群7膝において前内側線維束(AMB)および後外側線維束(PLB)の移植腱実質部の信号強度変化(SIR)と、大腿骨骨孔の関節内開孔部の骨孔壁と移植腱間の高信号領域の出現率について調査した。

【結果】術後の膝安定性、再断裂率では両群間に有意差は認めなかった。MRI画像による各線維束のSIRは、両群間および術後6ヵ月と1年で有意差を認めなかった。骨孔壁と移植腱間の高信号領域の出現率は、ソケット孔群ではいずれの時期においてもAMB、PLBで高信号領域を認めなかった。術後6ヵ月のPLBでは貫通孔群50%、ソケット孔群0%であり、両群間に有意差を認めた。

【結論】より低侵襲なソケット孔群では、骨孔壁と移植腱の癒合が早期に完成する所見がMRIではじめて明らかとなり、移植腱のより安定した生着、長期にわたる機能維持に貢献する可能性が示唆された。

キーワード：解剖学的二重束前十字靱帯再建術 (anatomical double-bundle anterior cruciate ligament reconstruction)、outside-in法(outside-in method)、大腿骨骨孔(femoral bone tunnel)、magnetic resonance imaging (MRI)、リモデリング (remodeling)

【緒言】

膝前十字靱帯 (anterior cruciate ligament ; ACL) 損傷は、スポーツ膝傷害の中で頻度が高い損傷のひとつである。ACL損傷受傷時には、半月板損傷が10～20%、軟骨損傷が16%合併するとされるが、放置しておくとう受傷後6ヵ月には半月板損傷は63%、軟骨損傷は29%に増加し、受傷後10年には60%が変形性膝関節

症に進展するとされ¹⁾、早期のACL再建術が必要となる。ACL再建術は、1917年に初めてHey Groves²⁾により腸脛靱帯を用いた直視下関節外再建術が報告された。1980年代になると、骨付き膝蓋腱³⁾、同種腱⁴⁾、人工靱帯⁵⁾を用いた鏡視下手術による関節内再建が行われるようになった。1990年代には、大腿四頭筋腱⁶⁾や膝屈筋腱⁷⁾による再建術が行われるようになり、現在では膝屈筋腱による再建術が広く行われている。膝屈筋腱による再建術としては、1990年にRosenbergら⁷⁾

が4重折り屈筋腱を用いたisometric positionに骨孔を作製する一重束再建術を報告し、1997年には大腿骨骨孔をふたつ作製するbi-socket法を報告した⁸⁾。しかし、この当時の再建術の大腿骨骨孔の位置は正常のACL付着部とは異なる非解剖学的再建術であり、回旋不安定性を制御できなかった⁹⁾。その後、ACL付着部の詳細な解剖学的研究^{10)–14)}の成果により、骨孔を正常ACLの付着部に作製する解剖学的再建術が行われるようになった。2004年に安田ら⁹⁾が解剖学的二重束再建術を報告した。この術式は、ACLを構成する2本の線維束である前内側線維束 (anteromedial bundle ; AMB) および後外側線維束 (posterolateral bundle ; PLB) を再建することで、正常膝キネマティクスを再現できる優れた術式である。現在、この解剖学的二重束再建術が本邦では広く行われ良好な成績が報告されている^{15)–17)}。手術成績に関わる因子として、Johnsonら¹⁸⁾は、再断裂の要因を手術手技の問題、移植腱癒合の問題、外傷の3群に分類している。Carsonら¹⁹⁾はACL再建術における最も多い手術手技上の問題は大腿骨側骨孔の前方設置であると報告しており、大腿骨の骨孔位置が治療成績に直結するため、至適位置に正確に骨孔を作製することが重要となる。我々は、2005年から安田らの方法⁹⁾に準じて、経脛骨骨孔法で大腿骨骨孔を作製してきたが、大腿骨骨孔位置不良による成績不良となる症例が存在した²⁰⁾。そこで、より適切な位置に大腿骨骨孔を作製するために2008年からoutside-in法で大腿骨骨孔を作製してきた^{21)–23)}。大腿骨骨孔を経脛骨骨孔法で作製した97膝と順行性にoutside-in法で作製した101膝の臨床成績を比較すると、経脛骨骨孔法、outside-in法の順にKT-1000患側側差は 1.5 ± 2.1 mm、 0.7 ± 1.9 mm ($P < 0.05$)、pivot shift test 陽性率は23.9%、8.1% ($P < 0.01$)、再断裂率は10.3%、1.0% ($P < 0.01$)であり、outside-in法で有意に安定性が良好で、再断裂が少なく、outside-in法が優れていた²³⁾。しかし、outside-in法で順行性に骨皮質を貫通して骨孔を作製する場合、移植腱が骨孔内で異常可動性を生じる「windshield wiper effect」^{24), 25)}や膝の屈伸により移植腱が伸張する「bungee cord effect」²⁶⁾により、骨孔拡大や移植腱と骨孔の癒合不全を生じる可能性がある。この問題点を補うべく、2011年から逆行性ドリルを用いて必要最小限の長さのソケット骨孔を掘削し、またACL TightRope® (Arthrex, Florida, USA) を併用することにより骨孔と移植腱をより密着できる方法に変更した^{27)–29)}。逆行性ドリルの利点として、作製された骨孔がソケット孔であることから、より低侵襲で、骨孔拡大を減少させることがで

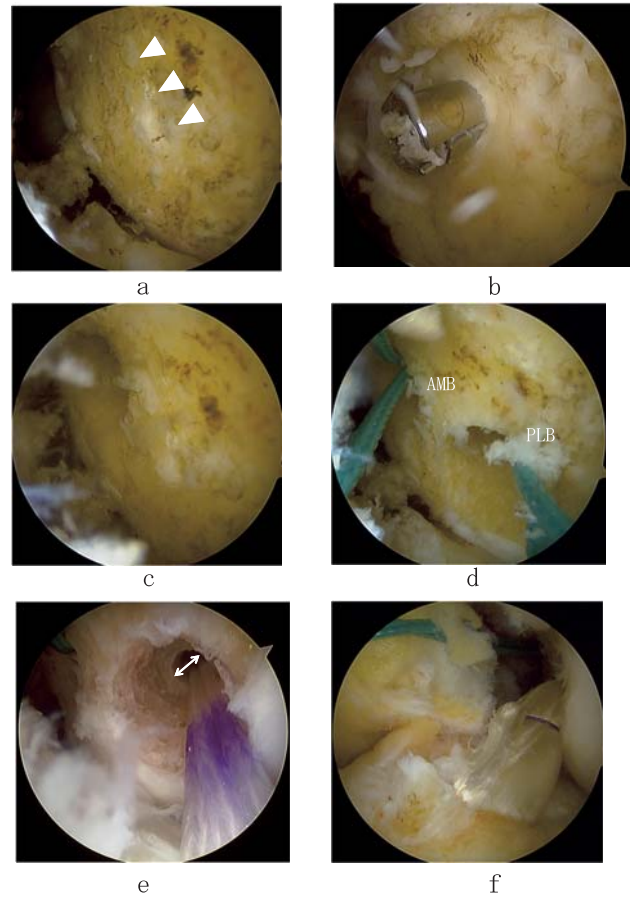


図1. 手術手技. 大腿骨骨孔作製方法.

- 鏡視像 (左膝)。resident's ridge (矢頭)。
- 前内側線維束の骨孔作製。FlipCutter II®を挿入し刃を開いた。
- 逆行性に長さ15mmのソケット骨孔を掘削した。
- 前内側線維束 (AMB) と後外側線維束 (PLB) の骨孔。
- 作製された大腿骨のソケット骨孔 (PLB)。矢印は3.5mm径のドリルで掘削した骨孔。
- 後外側線維束 (PLB) の移植腱をソケット骨孔に隙間なく挿入した。

きる³⁰⁾。また、骨孔内での移植腱の異常可動性を抑制し、骨孔壁と移植腱の癒合を促進する可能性が期待できる。これまで、この貫通孔法とソケット孔法において臨床成績を比較した報告は少なく、またMRI画像による移植腱の再構築過程を比較した報告はない。本研究の目的は、貫通孔法とソケット孔法において、臨床成績およびMRI画像による移植腱の再構築過程を比較し、臨床的有効性の相違を明らかにすることである。

【対象と方法】

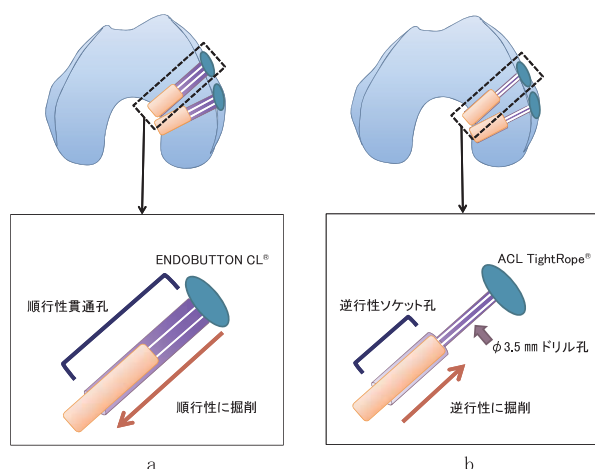


図 2. outside-in 法による大腿骨骨孔作製方法.

- 貫通孔. 大腿骨外側皮質から関節内まで貫通した骨孔を順行性に掘削 (赤矢印) し、ENDOBUTTON CL[®] で固定した。
- ソケット孔. 大腿骨外側皮質から関節内まで3.5mm 径のドリルで掘削し、その後移植腱の直径に応じた直径のソケット孔を逆行性に掘削 (赤矢印) し、ACL TightRope[®] でソケット孔に隙間なく移植腱を挿入し固定した。

対象は、2008年から2015年に同一術者（著者）により解剖学的二重束ACL再建術が行われた症例とした。大腿骨骨孔は史野らの方法³¹⁾に準じてresident's ridgeの後方にoutside-in法で作製した (図 1 a)。移植腱は半腱様筋腱を用い、長さや直径が不足した場合には薄筋腱を追加した。採取腱を二重折りとした直径を計測し、その直径のドリルで大腿骨外側皮質から関節内まで貫通した骨孔を順行性に掘削し、ENDOBUTTON CL[®] (Smith & Nephew Endoscopy, Andover, USA) で固定した症例を貫通孔群とした (図 2 a)。大腿骨外側皮質から関節内までを3.5mm 径のドリルで掘削し、その後移植腱の直径のFlipCutter II[®] (Arthrex, Florida, USA) を用いて15 mm の長さのみ逆行性にソケット孔を掘削し、ACL TightRope[®] (Arthrex, Florida, USA) を用いソケット孔に隙間なく移植腱を挿入し固定した症例をソケット孔群とした (図 1 b - f, 図 2 b)。脛骨骨孔はACL付着部にAMB, PLBをそれぞれ作製した。固定肢位は膝関節屈曲10°とし、AMBには30 N, PLBには20 Nの初期固定張力を与えDouble Spike Plate[®] (メイラ株式会社、名古屋市、日本) と螺子 (メイラ株式会社、名古屋市、日本) で固定した。2008年から2011年までを貫通孔群、2012年から2015年までをソケット孔群とした。術後1年以上経過観察可能であり、両側受傷例および調査項目不備の症例を除外した108例108膝を対象とした。貫

表 1. 術後臨床成績. 対象.

	貫通孔群		ソケット孔群		P
症例 (膝)	79		29		
性別 (膝)	男	女	男	女	0.51
	27	52	8	21	
手術時平均年齢 (歳)	21.9 ± 9.5		26.2 ± 12.3		0.05
術後平均経過観察期間 (ヵ月)	13.5 ± 3.0		13.3 ± 3.6		0.57

性別: カイ二乗検定
年齢, 経過観察期間: Mann-Whitney's U 検定

表 2. 術後臨床成績.

	貫通孔群	ソケット孔群	P
Lachman test 陽性率 (%)	7.7	10.3	0.70
pivot shift test 陽性率 (%)	10.1	0	0.11
再断裂率 (%)	1.3	0	>0.99

Mann-Whitney's U 検定

通孔群 79膝 (男性27膝、女性52膝)、ソケット孔群29膝 (男性8膝、女性21膝)、手術時平均年齢は貫通孔群21.9 (12~50) 歳、ソケット孔群26.2 (14~53) 歳、術後平均経過観察期間は貫通孔群13.5 (12~24) ヲ月、ソケット孔群13.3 (12~15) ヲ月であった (表 1)。

術後臨床成績の検討: 再建術後1年時の膝安定性をLachman test 陽性率、pivot shift test 陽性率、KT-1000 (20 lb) による患健側差で評価した。また、再断裂率を両群間で比較検討した。

MRI画像所見の検討: 術後6ヵ月、1年にMRI画像を撮像し得た貫通孔群20膝、ソケット孔群7膝について検討した。貫通孔群は男性10膝、女性10膝、ソケット孔群は男性3膝、女性4膝で、手術時平均年齢は、貫通孔群20.6 (13~35) 歳、ソケット孔群37.0 (23~53) 歳であった (表 2)。ACL再建術後の移植腱の再構築過程には、移植腱の一部が一度壊死し、その後再血行化し、靱帯化する移植腱自体のリモデリング³²⁾と骨孔壁と移植腱の癒合^{33), 34)}が必要であり、これらをMRI画像で評価した。移植腱のリモデリングは、関節内の移植腱実質部の信号強度変化で評価した。AMB, PLBがそれぞれ最もよく描出された矢状断T2強調画像を用い、Miyawakiら³⁵⁾の方法に準じ、AMB, PLBそれぞれの線維束のregion-of-interest (ROI) を計測し、後十字靱帯 (posterior cruciate ligament; PCL) のROIで除した値をSignal intensity ratio (SIR) とした (図

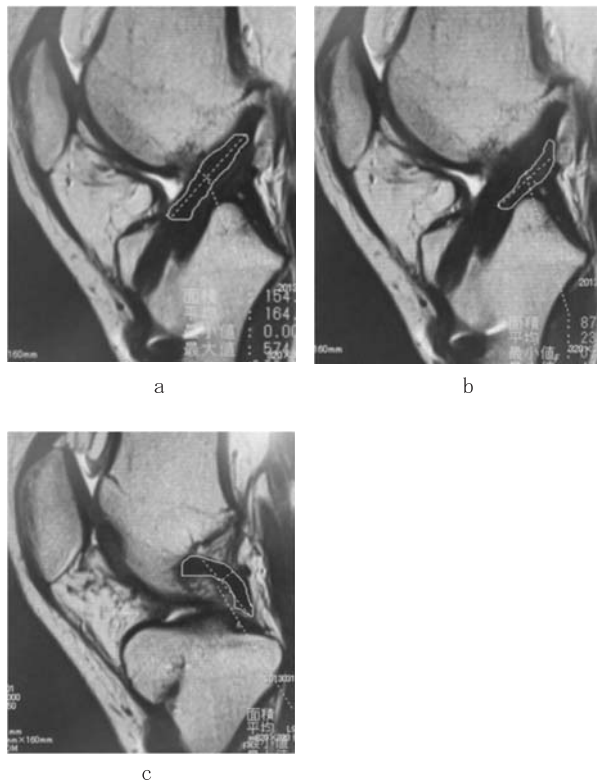


図 3. MRI画像. Region of interest (ROI) の測定方法.
線で囲まれた部分のROIを測定した。
a. 前内側線維束 (AMB)
b. 後外側線維束 (PLB)
c. 後十字靱帯 (PCL)

3)。次いで、骨孔壁と移植腱の癒合は、大腿骨骨孔の関節内開孔部におけるAMB, PLBそれぞれの骨孔壁と移植腱間の高信号領域の出現率について調査した(図4)。術後6ヵ月、1年での移植腱実質部のSIRにおいて、各群内の各線維束間の比較、各群内の各線維束の経時的変化の比較および両群間の比較を行った。また、骨孔壁と移植腱間の高信号領域の出現率について両群間で比較検討した。

統計学的解析には、Mann-WhitneyのU検定、Wilcoxon符号付順位和検定、Spearmanの順位相関、カイ二乗検定およびFisher直接確率計算法を用い、有意水準を5%未満とした。

【結果】

術後臨床成績の検討：両群間で、性別、年齢、術後経過観察期間において有意差は認めなかった(表1)。術後の膝安定性の評価では、貫通孔群、ソケット孔群の順に、Lachman test 陽性率は7.7%、10.3%



図 4. MRI画像. 開孔部における骨孔壁と移植腱間の高信号領域.
後外側線維束 (PLB) の骨孔壁と移植腱間に高信号領域(矢頭)を認めた。

表 3. MRI画像所見. 対象.

	貫通孔群		ソケット孔群		P
症例(膝)	20		7		
性別(膝)	男	女	男	女	>0.99
	10	10	3	4	
手術時平均年齢(歳)	20.6 ± 8.3		37.0 ± 10.6		0.002*

性別: Fisher 直接確率計算法
年齢: Mann-Whitney's U 検定
* < 0.05

($P=0.70$) で有意差は認めなかった。pivot shift test 陽性率は10.1%、0% ($P=0.11$)、KT-1000 (20 lb) 患健側差は 0.7 ± 1.9 mm、 0.2 ± 1.9 mm ($P=0.25$) で、両群間に有意差は認めなかったが、ソケット孔群において低い傾向を認めた。再断裂率は1.3%、0% ($P>0.99$) であり両群間に有意差は認めなかった(表2)。

MRI画像所見の検討：両群間で、性別には有意差は認めなかったが($P>0.99$)、年齢で貫通孔群の方が有意に低かった($P=0.002$)(表3)。MRI画像による移植腱のSIRは、術後6ヵ月では貫通孔群 AMB 1.6 ± 0.6 、PLB 2.1 ± 0.7 、ソケット孔群 AMB 1.8 ± 0.6 、PLB 2.1 ± 0.9 、術後1年では貫通孔群 AMB 1.6 ± 0.8 、PLB 1.9 ± 1.0 、ソケット孔群 AMB 1.4 ± 0.3 、PLB 1.6 ± 0.4 であった(表4)。各群内の各線維束のSIRを比較すると、いずれにおいてもPLBがAMBよりも高値であり、特に術後6ヵ月の貫通孔群で有意差を認めた($P=0.01$)。各群内の経時的変化では有意差は認めなかったが、貫通孔群のAMB、ソケット孔群のAMBおよびPLBで術後6ヵ月に比較し術後1年で低下傾

表 4. 各群内の各線維束の信号強度比 (SIR).

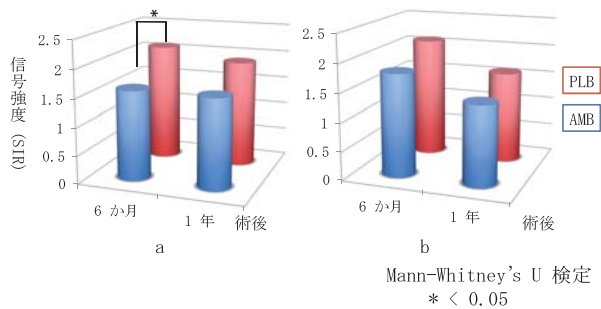


表 5. 各群内の経時的な信号強度比 (SIR).

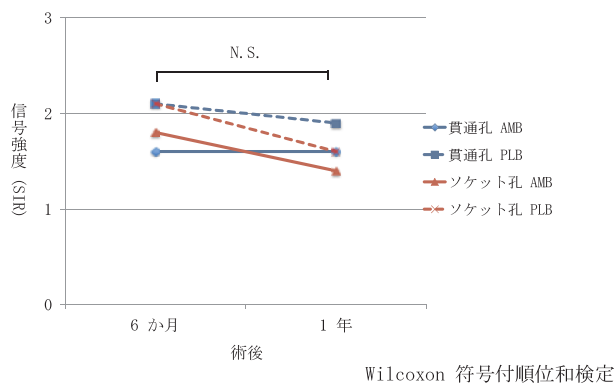


表 6. 両群間の信号強度比 (SIR).

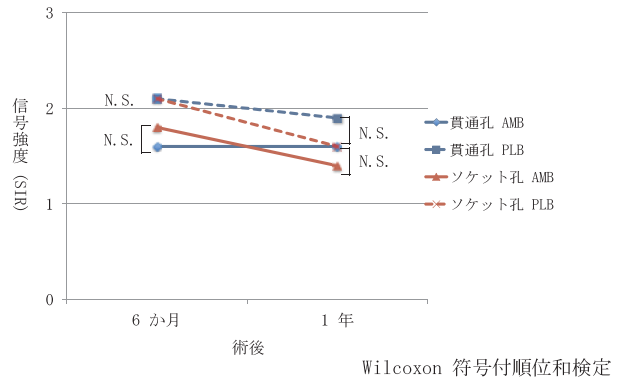


表 7. 骨孔壁と移植腱間の高信号領域出現率 (%).

		貫通孔群	ソケット孔群	P
術後 6 か月	AMB	15	0	0.55
	PLB	50	0	0.03*
術後 1 年	AMB	5	0	>0.99
	PLB	45	0	0.06

Fisher 直接確率計算法
* < 0.05

向にあり、ソケット孔群においてより低下していた (表 5)。両群間の各時期での比較では、いずれの線維束においても有意差は認めなかったが、術後 1 年時のソケット孔群で貫通孔群に比較し AMB, PLB ともに低値であった (表 6)。

次に、骨孔壁と移植腱間の高信号領域の出現率は、術後 6 ヶ月では AMB は貫通孔群 15%、ソケット孔群 0% で有意差は認めなかった ($P=0.55$) が、PLB は貫通孔群 50%、ソケット孔群 0% であり有意差を認めた ($P=0.03$)。術後 1 年では AMB は貫通孔群 5%、ソケット孔群 0% ($P>0.99$)、PLB は貫通孔群 45%、ソケット孔群 0% であり ($P=0.06$)、両群間で有意差を認めなかった (表 7)。

【考察】

ACL 再建術後の移植腱の再構築過程では、骨孔壁と移植腱が癒合し、さらに移植腱自体がリモデリングする必要がある^{32)~34)}。ハムストリング筋腱を用いた場合、移植腱が骨孔内で異常可動性を生じる「windshield wiper effect」^{24), 25)}や膝の屈伸により移植腱が伸張する「bungee cord effect」²⁶⁾により骨孔拡大や骨孔壁と移植腱の癒合不全を生じる可能性がある。こ

れらの欠点を補うべく、逆行性ドリルを用いて必要最小限の長さのソケット骨孔を掘削し、また ACL TightRope® (Arthrex, Naples, FL) を併用することにより骨孔と移植腱をより密着できるソケット孔法を試みてきた。術後 1 年の短期の成績は両群間で有意差は認めなかったが、ソケット孔群において KT-1000 患側側差がより小さく、pivot shift test 陽性率がより低い傾向を認めた。症例をさらに重ね、また長期的な経過を追うことにより、逆行性にソケット孔を作製し移植腱を隙間なく密着させることが可能な、より低侵襲である本方法の有効性が明らかになることが期待される。

MRI 画像における移植腱実質部の信号強度変化は移植腱の成熟過程を反映すると報告されている³⁶⁾。貫通孔群の PLB、ソケット孔群の AMB, PLB の SIR は、術後 6 ヶ月と 1 年で有意差はないものの術後 1 年で低下傾向を認めた。これは、移植腱の経時的なリモデリングを意味していると考えられる。また、貫通孔群、ソケット孔群ともに術後 6 ヶ月では AMB よりも PLB で高値であったが、術後 1 年では AMB と同程度まで低下していた。横田ら³⁷⁾は遺残組織を温存した ACL 再建術において、移植腱のリモデリングの程度を本研究と同様に SIR で評価し、AMB 1.67, PLB 2.17 であり、

PLBの方が大きかったとしている。市川ら³⁸⁾は、PLBの固定間距離の変化が伸展位で大きくなり、またAmisら³⁹⁾は、ACLに加わる負荷分担では、膝伸展位近くでPLBに過負荷が加わるとしている。これらより、膝伸展に伴ってPLBには過大な伸張ストレスがかかり、その結果靱帯のリモデリングまでに時間を要したのではないかと推測した。

一方、骨孔内の信号強度変化は、移植腱と骨孔壁との癒合を示しており、癒合が完成する時期には低信号を示すと報告されている³⁶⁾。横田ら³⁷⁾は、再建術後1年においてAMBでは9%、PLBでは54%の症例でPLBに高信号領域を認めたとしている。本研究における骨孔壁と移植腱間の高信号領域の出現率は、貫通孔群では、術後6ヵ月のAMBは15%、PLBは50%と高率であり、術後1年では、AMBは5%、PLBは45%とやや低下を認めた。これは、経時的な癒合の進行を示唆しているが、完全癒合は得られていないと考えられる。貫通孔群では、移植腱の異常可動性により移植腱と骨孔壁の癒合が遅延あるいは癒合していない可能性が考えられる。これに対し、ソケット孔群では、術後6ヵ月、1年でAMB、PLBともに高信号領域を認めた症例はなかった。これは、骨孔をソケット孔とし、なおかつ移植腱をソケット孔内に隙間なく挿入し密着させることにより移植腱の異常可動性を制御し、移植腱と骨孔壁の癒合を促進している可能性が考えられる。

本研究の限界として、症例数が少ないこと、後向き研究であること、術後1年までの検討である点があげられる。移植腱の成熟には12ヵ月以上を要する⁴⁰⁾とも報告されており、さらに長期の研究が必要と思われる。

【まとめ】

1. 解剖学的二重束前十字靱帯再建術において、貫通孔群とソケット孔群の術後臨床成績、MRI画像での靱帯のリモデリングおよび骨孔壁と移植腱の癒合について検討した。
2. 膝安定性および再断裂率では両群間に有意差を認めず、ともに良好であった。
3. MRI画像での骨孔壁と移植腱間の高信号領域は、ソケット孔群ではいずれの時期においても認めず、特に術後6ヵ月におけるPLBで貫通孔群との間に有意差を認めた。
4. より低侵襲なソケット法において、骨孔壁と移植腱の癒合が早期に完成し移植腱のリモデリングに寄与している可能性がある。

【参考文献】

1. Louboutin H, Debarge R, Richou J, Selmi TA, Donell ST, Neyret P, Dubrana F : Osteoarthritis in patients with anterior cruciate ligament rupture: a review of risk factors. *Knee* 2009; 16 :239-244
2. Hey-Groves EW: The use of fascial and tendon grafts in certain fractures and dislocations. *Ann Surg* 1934; 100: 20-29
3. Kurosaka M, Yoshiya S, Andrish JT. A biomechanical comparison of different surgical techniques of graft fixation in anterior cruciate ligament reconstruction. *Am J Sports Med* 1987; 15: 225-229
4. Shino K, Inoue M, Horibe S, Hamada M, Ono K. Reconstruction of the anterior cruciate ligament using allogeneic tendon. Long-term followup. *Am J Sports Med* 1990; 18: 457-465
5. Fujikawa K, Iseki F, Seedhom BB. Arthroscopy after anterior cruciate reconstruction with the Leeds-Keio ligament. *J Bone Joint Surg Br* 1989; 71: 566-570
6. Fulkerson JP, Langeland R. An alternative cruciate reconstruction graft: the central quadriceps tendon. *Arthroscopy* 1995; 11: 252-254
7. Cooley VJ, Deffner KT, Rosenberg TD. Quadrupled semitendinosus anterior cruciate ligament reconstruction: 5-year results in patients without meniscus loss. *Arthroscopy* 2001; 17: 795-800
8. Rosenberg TD, Deffner KT: ACL reconstruction: Semitendinosus tendon is the graft of choice. *Orthopedics* 1997; 20: 396-398
9. Yasuda K, Kondo E, Ichiyama H, Kitamura N, Tanabe Y, Tohyama H, et al.: Anatomic reconstruction of the anteromedial and posterolateral bundles of the anterior cruciate ligament using hamstring tendon grafts. *Arthroscopy* 2004; 20: 1015-1025
10. Mochizuki T, Muneta T, Nagase T, Shirasawa S, Akita KI, Sekiya I: Cadaveric knee observation study for describing anatomic femoral tunnel placement for two-bundle anterior cruciate ligament reconstruction *Arthroscopy* 2006; 22: 356-361
11. Ferretti M, Ekdahl M, Shen W, Fu FH: Osseous landmarks of the femoral attachment of the anterior cruciate ligament. *Arthroscopy* 2007; 23: 1218-1225
12. Hara K, Mochizuki T, Sekiya I, Yamaguchi K, Akita K, Muneta T: Anatomy of normal human anterior cruciate ligament attachments evaluated by divided small bundles. *Am J Sports Med* 2009; 37: 2386-2391
13. Iwahashi T, Shino K, Nakata K, Otsubo H, Suzuki

- T, Amano H, et al.: Direct anterior cruciate ligament insertion to the femur assessed by histology and 3-dimensional volume-rendered computed tomography. *Arthroscopy* 2010; 26: S13-S20
14. Sasaki N, Ishibashi Y, Tsuda E, Yamamoto Y, Maeda S, Mizukami H, et al.: The femoral insertion of the anterior cruciate ligament discrepancy between macroscopic and histological observations. *Arthroscopy* 2012; 28: 1135-1146
15. Yasuda K, Kondo E, Ichiyama H, Tanabe Y, Tohyama H: Clinical evaluation of anatomic double-bundle anterior cruciate ligament reconstruction procedure using hamstring tendon grafts: comparisons among 3 different procedures. *Arthroscopy* 2006; 22: 240-251
16. Muneta T, Koga H, Morito T, Yagishita K, Sekiya I: A retrospective study of the midterm outcome of two-bundle anterior cruciate ligament reconstruction using quadrupled semitendinosus tendon in comparison with one-bundle reconstruction. *Arthroscopy* 2006; 22: 252-258
17. Toritsuka Y, Amano H, Kuwano M, Iwai T, Mae T, Ohzono K, et al.: Outcome of double-bundle ACL reconstruction using hamstring tendons. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2009; 17 : 456-463
18. Johnson DL, Coen MJ: Revision ACL surgery. Etiology, indications, techniques, and results. *Am J Knee Surg* 1995; 8: 155-167
19. Carson EW, Simonian PT, Wickiewicz TL: Revision anterior cruciate ligament reconstruction. *AAOS Instr Course Lect* 1998; 47: 21-28
20. 鈴木 朱美, 福島 重宣, 松本 宏史, 富樫 栄太, 土屋 篤嗣: 解剖学的 2 重束前十字靱帯再建術の臨床成績. 再断裂例の要因. *JOSKAS* 2010; 35: 540-544
21. 鈴木朱美, 福島重宣, 富樫栄太, 土屋篤嗣: 解剖学的 2 重束前十字靱帯再建術における 3-D CT を用いた骨孔位置の評価. *JOSKAS* 2011; 36: 64-65
22. 鈴木朱美, 福島重宣, 富樫栄太, 土屋篤嗣: 解剖学的 2 重束前十字靱帯再建術の臨床成績 大腿骨骨孔の作成方法の違いによる比較. *JOSKAS* 2012; 37: 514-517
23. 鈴木朱美, 福島重宣, 富樫栄太: Outside-in 法による解剖学的 2 重束前十字靱帯再建術の臨床成績. *JOSKAS* 2014; 39: 176-177
24. L' Insalata JC, Klatt B, Fu FH, Harner CD: Tunnel expansion following anterior cruciate ligament reconstruction: a comparison of hamstring and patellar tendon autografts. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 1997; 5: 234-238
25. Nebelung W, Becker R, Merkel M, Röpke M: Bone tunnel enlargement after anterior cruciate ligament reconstruction with semitendinosus tendon using Endobutton fixation on the femoral side. *Arthroscopy* 1998; 14: 810-815
26. Höher J, Möller HD, Fu FH: Bone tunnel enlargement after anterior cruciate ligament reconstruction: fact or fiction ?. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 1998; 6: 231-40
27. 鈴木朱美, 福島重宣, 富樫栄太: 逆行性ドリルを用いて大腿骨骨孔を作製した解剖学的 2 重束前十字靱帯再建術. *JOSKAS* 2013; 38: 80-81
28. 鈴木朱美, 福島重宣, 富樫栄太, 浅野多聞, 成田淳, 高木理彰: 【膝前十字靱帯損傷治療ー最近のトピックス】膝屈筋腱を用いた前十字靱帯再建術. 整形・災害外科 2014; 57: 383-391
29. 鈴木朱美, 成田淳, 浅野多聞, 福島重宣, 富樫栄太: 逆行性ドリルを用いて大腿骨骨孔を作製した解剖学的 2 重束前十字靱帯再建術の術後成績. *JOSKAS* 2015; 40: 154-155
30. 山口徹, 木村雅史: 膝前十字靱帯再建術ー最新の治療戦略ー膝屈筋腱を用いた double bundle ACL reconstruction. no gap technique. 整形外科最小侵襲手術ジャーナル 2013; 66: 67-72
31. Shino K, Suzuki T, Iwahashi T, Mae T, Nakamura N, Nakata K, et al.: The resident's ridge as an arthroscopic landmark for anatomical femoral tunnel drilling in ACL reconstruction. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2010; 18: 1164-1168
32. Janssen RP, van der Wijk J, Fiedler A, Schmidt T, Sala HA, Scheffler SU: Remodelling of human hamstring autografts after anterior cruciate ligament reconstruction. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2011; 19: 1299-306
33. Weiler A, Peine R, Pashmineh-Azar A, Abel C, Südkamp NP, Hoffmann RF: Tendon healing in a bone tunnel. Part I: Biomechanical results after biodegradable interference fit fixation in a model of anterior cruciate ligament reconstruction in sheep. *Arthroscopy* 2002; 18: 113-23
34. Weiler A, Hoffmann RF, Bail HJ, Rehm O, Südkamp NP: Tendon healing in a bone tunnel. Part II: Histologic analysis after biodegradable interference fit fixation in a model of anterior cruciate ligament reconstruction in sheep. *Arthroscopy* 2002; 18: 124-35
35. Miyawaki M, Hensler D, Illingworth KD, Irrgang JJ, Fu FH: Signal intensity on magnetic resonance imaging after allograft double-bundle anterior cruciate ligament reconstruction. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2014; 22: 1002-1008

36. Uchio Y, Ochi M, Adachi N, Kawasaki K, Kuriwaka M: Determination of time of biologic fixation after anterior cruciate ligament reconstruction with hamstring tendons. *Am J Sports Med* 2003; 31: 345-352
37. 横田正司, 小野寺純, 近藤英司, 北村信人, 岩崎倫政, 安田和則: 回部夫学的 2 束 ACL 再建術における遺残組織の温存が移植腱の再構築過程に与える効果—MRI を用いた研究—. *JOSKAS* 2016; 41: 118-119
38. 市川廣樹, 安田和則, 遠山晴一, 近藤英司, 北村信人, 池間康成ほか: 解剖学的再建術によって再建される前内側・後外側線維束の length pattern に関する in vivo 計測膝 2003; 28: 108-112
39. Amis AA, Dawkins GP: Functional anatomy of the anterior cruciate ligament. Fiber bundle actions related to ligament replacements and injuries. *J Bone Joint Surg Br* 1991; 73: 260-267
40. Falconiero RP, DiStefano VJ, Cook TM: Revascularization and ligamentization of autogenous anterior cruciate ligament grafts in humans. *Arthroscopy* 1998; 14: 197-205